

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XVII CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

**RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS SEDIMENTOMÉTRICOS DE LA CUENCA
DEL MAIPO.**

**KARINA ANDREA SANHUEZA TAPIA¹
R. ALEJANDRO LÓPEZ ALVARADO²
FERNANDO VIDAL JARA³**

RESUMEN

El presente trabajo reúne los registros sedimentométricos de dos estaciones de medición de la Cuenca Alta del Río Maipo, Maipo en San Alfonso y Maipo en El Manzano, que la Dirección General de Aguas (DGA) administra, junto con antecedentes respecto de los métodos de medición utilizados. Estos datos, muestreos rutinarios e integrados, son ordenados y analizados, con el fin de establecer una relación entre ambos tipos de medición, para obtener finalmente coeficientes de corrección que relacionen el gasto sólido obtenido a través de ambos métodos de muestreo.

¹Ingeniero Civil, Profesor Universidad de Santiago de Chile - mail: sanhueza.karina@gmail.com

²Ingeniero Civil, Instituto Nacional de Hidráulica – mail: alopez@inh.cl

³Ingeniero Ejecución, Dirección General de Aguas, MOP – mail: fernando.vidal@mop.gov.cl

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de las estadísticas generadas de concentración de sedimentos en suspensión obtenidas a través de muestreos y mediciones sistemáticas a lo largo del tiempo, se ha planteado de interés efectuar el presente trabajo para analizar algunas de las series obtenidas en las estaciones de control ubicadas en la cuenca del Río Maipo y determinar la relevancia de la determinación del factor o función de corrección que se aplica a la estadística rutinaria teniendo como referencia la estadística obtenida a través de mediciones integradas del sedimento en suspensión en el río.

La medición rutinaria se realiza mediante la determinación de la concentración del sedimento en suspensión en una muestra diaria sacada superficialmente desde el flujo de agua del río; en cambio en la medición integrada la concentración se determina sobre varias muestras de agua obtenidas en varias abscisas de la sección del río y recolectando el agua desde la superficie hasta el fondo.

En nuestro país este procedimientos se utiliza en forma sistemática en todas las estaciones fluviométricas donde se efectúa la medición de sedimentos en suspensión, por lo que resulta de interés examinar la bondad de estas estadísticas y el peso de la corrección que debe aplicarse a la estadística generada mediante las mediciones rutinarias.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Determinar el coeficiente de corrección que debe aplicarse a la medición rutinaria en base a la medición integrada. Establecer relación entre los muestreos rutinarios e integrados, con el fin de optimizar las campañas de terreno.

3. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y DATOS EXISTENTES EN LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN MAIPO EN EL MANZANO Y MAIPO EN SAN ALFONSO

El proceso de determinación de la cantidad de sedimento en suspensión, se puede separar en dos etapas: Etapa de Terreno y Etapa de Laboratorio.

En la primera de ellas se procede al muestreo en el cauce, en la estación de medición respectiva. La segunda etapa, por tratarse de procesos de laboratorio, no necesariamente debe tener lugar en la propia estación, y para el caso de la cuenca en estudio, las muestras son enviadas al centro de filtrado de la DGA, ubicado en la comuna de Santiago.

Estos procedimientos están regulados por normas establecidas (ENDESA, 1964) y DGA-MOP.

A continuación se presenta una breve descripción de lo que se realiza en ambas etapas.

Etapas de Terreno. Corresponde a la ejecución de los muestreos, tanto superficiales, como integrados.

Tipo de Muestreo: Muestreo superficial (Rutinario).

Muestreo con canastillo.

Se realiza desde un Puente o Carro de Aforo y en el centro de la corriente, donde se obtienen las muestras más representativas.

1. Siempre se deben llevar dos botellas para realizar un muestreo con canastillo.
2. Se introduce la botella sin tapa al canastillo de muestreo y se asegura con una lazada del cordel de sustentación.
3. Se baja hasta tocar levemente con el canastillo la superficie del agua, de modo tal que se inicie un movimiento pendular en el sentido longitudinal del escurrimiento y en una ubicación aproximada a un metro aguas arriba, se deja alargar el cable, de modo que la botella se sumerja completamente en el agua, sacándola al observar que se ha alcanzado el volumen correcto.
4. Una vez izada la botella, antes de retirarla del canastillo, y aprovechando que la botella es semi-transparente, se verifica que el volumen de muestra recogido, esté dentro del rango aceptable (3/4 del envase). Si no se cumple esta condición, por estar llena al máximo, se deberá tapar antes de retirarla del canastillo. Se anota en el formulario la observación correspondiente y se repite el muestreo con la otra botella limpia. Si la botella quedara bajo la mitad de su volumen se re-muestra en la misma botella para completar el volumen indicado.
5. Luego de verificar que el nivel está en el rango aceptable se tapa y se retira del canastillo.
6. Se anotan en el formulario todos los parámetros solicitados, más las observaciones, si es que se producen, y se da por terminado el muestreo.

Tipo de Muestreo: Muestreo en profundidad (Integrado).

Muestreo de llenado continuo de la botella en toda la vertical, en su viaje de descenso y ascenso.

El muestreador portátil DH-48, fue diseñado para integrar muestras de sedimentos en suspensión en corrientes lentas (velocidades menores a 1 m/s.) y poco profundas. Con este instrumento el operador toma muestras de sedimentos mientras vadea la corriente, o bien, en condiciones más convenientes y recomendables desde un puente bajo. El muestreador consiste, esencialmente en un casquete de aluminio sujeto a una barra de 1 m. de largo y de un peso aproximado de 2 Kg., que contiene el vaso o botella para muestra, lo que permite un fácil descenso y ascenso del muestreador en la vertical seleccionada.

El muestreador está soportado por una barra de acero estándar de 12,7 mm. de diámetro (1/2"), cualquier tipo de barra o tubo deseada puede ser utilizada para soportar el muestreador, siempre que se usen las uniones (diámetro o hilo) apropiadas.

Se instala dentro del casquete muestreador una botella de vidrio graduada. La botella es afirmada por un soporte posterior, a presión, se mantiene fija a la cabeza del tomador de muestras sellada por una empaquetadura de neopreno esponjoso. El soporte puede ser movido o retirado de la parte posterior y la presión de éste sobre la botella puede ser ajustada, aumentando o

disminuyendo la presión de la tuerca. El contenedor está inclinado en un ángulo de 72.5°, con respecto a la vertical, lo que permite muestrear desde los 90 mm. (3,5") del lecho. Con el instrumento orientado en la dirección del flujo (toma o boquilla horizontal y apuntada aguas arriba) se llena con flujo continuo la botella durante el periodo de inmersión.

El muestreador, mientras está sumergido, continuamente estará tomando muestras en agua corriente incluso cuando la botella se llene. Si la botella llegara a llenarse, la muestra no será representativa y deberá desecharse. En todo caso la capacidad de la botella es de 470 cc. Y el punto de quiebre es tal que cualquier muestra que contenga más de 400 cc. de mezcla agua sedimento, estaría errática. En orden de proveer suficientes muestras para un análisis de laboratorio, el lapso de tiempo que el instrumento permanecerá sumergido debe calcularse para lograr un muestreo superior a 375 cc. pero que no exceda los 400 cc. Generalmente es preferible salvar un muestreo inicial inferior a 375 cc. pero, superior a 300 cc. que descartar un muestreo de botella llena y efectuar otro en la misma botella. Se sugiere muestreos mínimos de 350 cc.

El volumen de muestras coleccionadas a través de un flujo en la vertical depende, principalmente, de la velocidad vertical media del flujo, del Ø de la boquilla y del tiempo que se tiene al instrumento sumergido. El operador deberá regular el tamaño de la muestra estableciendo un periodo de tiempo apropiado en el cual deberá ser tomada la muestra. Así, el volumen de la muestra puede crecer variando adecuadamente el tiempo de muestreo.

Etapas de Laboratorio. Corresponde al procesamiento de las muestras obtenidas en terreno.

Filtración y Calcinación.

Este método es de aplicación generalizada por su rapidez y por eliminar las materias orgánicas, se necesitan los siguientes elementos:

- Balanza analítica de 0,1 mg de precisión.
- Estufa de secado.
- Horno de mufla para calcinación.
- Disecador.
- Tenazas para tomar crisoles.
- Crisoles.

El volumen de la muestra se determina con anterioridad. Una vez filtradas las muestras, los crisoles con los filtros húmedos se secan convenientemente y se calcinan en el horno mufla a 550° o 600° C. Por lapso de dos horas. Por su importancia para la evaluación de los resultados, se deja constancia de la temperatura efectiva de calcinación en los formularios correspondientes a las muestras. Antes de enfriarse se trasladan los crisoles al disecador de donde se sacan una vez fríos y se pesan en la balanza analítica anotando su peso en el formulario correspondiente.

Datos de Terreno.

La cuenca del Maipo cuenta, en teoría, con ocho estaciones de medición de sedimentos. En cada una de estas estaciones se realiza mediciones sean del tipo rutinarias (diarias) y/o integradas (cada uno o dos meses). Las estaciones son las siguientes (DGA-MOP):

- Embalse El Yeso.
- Río Colorado antes junta Río Maipo.
- Río Maipo en El Manzano.
- Río Maipo en San Alfonso.
- Río Maipo en Cabimbao.
- Río Mapocho en Los Almendros.
- Río Mapocho en Rinconada de Maipú.
- Volcán en Queltehues.

Se consideró en el presente estudio datos sedimentométricos a partir del 01/01/1950 hasta el 27/11/2006; período largo, para asegurar se considere todos los registros existentes en la red. Estos antecedentes se encuentran disponibles en el Banco Nacional de Aguas de la Dirección General de Aguas.

Al revisar los datos disponibles, se tuvo en cuenta que las estaciones tuvieran registros de muestreos rutinarios e integrados y se decidió restringir el estudio sólo al Río Maipo, con lo cual se redujo el análisis a las estaciones Maipo en El Manzano y Maipo en San Alfonso, las cuales cumplen con la condición establecida.

Estación de Medición Río Maipo en el Manzano.

Ubicada a una altitud de 850 m, a una latitud 33° 35'38''S y a una longitud 70°22'45''W; perteneciente a la sub cuenca del Río Maipo Medio; con un área de drenaje de 4.968 km²; Registra muestreo rutinario a partir del 24/06/1965 hasta el 31/08/2006. Registra muestreo integrado a partir del 03/09/1985 hasta el 03/10/2006.

Estación de Medición Río Maipo en San Alfonso.

Ubicada a una altitud de 1.108 m, a una latitud 33° 43'53''S y a una longitud 70°17'57''W; perteneciente a la sub cuenca del Río Maipo Alto; con un área de drenaje de 2.850 km²; Registra muestreo rutinario a partir del 11/06/1985 hasta el 20/12/2005. Registra muestreo integrado a partir del 09/09/1985 hasta el 07/09/2006.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA DE PROCESAMIENTO

El análisis de la información y su procesamiento se realizó siguiendo las etapas que se describen a continuación.

PRIMERA ETAPA. Relación GSR – GSI.

A partir de las tablas de datos del sedimento en suspensión integrado y rutinario, para fecha común, fue determinada la relación lineal entre ambos registros, de la forma:

$$y = m * x \quad (1)$$

Donde la variable dependiente “y”, en las ordenadas representa al gasto sólido integrado (GSI), y la variable “x” independiente, representa al gasto sólido rutinario (GSR). Por lo tanto la relación queda:

$$GSI = m * GSR \quad (2)$$

SEGUNDA ETAPA. Curvas de descarga.

A partir de los registros del sedimento en suspensión, se determinó las curvas de descarga anuales (caudal versus gasto sólido en suspensión).

Las curvas de descarga tienen una curva asociada representada por la siguiente ecuación:

$$GS = a \cdot Q^b \quad (3)$$

Donde:

GS : Gasto Sólido en Suspensión

a : Parámetro de la relación anual,

b : Parámetro asociado a la relación anual.

Se determinó entonces para cada año, una curva de descarga asociada al gasto sólido en suspensión rutinario y otra curva de descarga asociada al gasto sólido en suspensión integrado. Por lo tanto, para cada período en estudio se obtuvo dos parámetros “a” y dos parámetros “b”.

TERCERA ETAPA. Caudal Promedio Anual y Caudal Promedio General.

Se obtuvo a partir de los registros del sedimento en suspensión rutinarios, un caudal promedio. Esto para cada periodo, y además un promedio general, que llamaremos Q_0 .

CUARTA ETAPA. Determinación de gasto sólido integrado y rutinario para Q_0 .

Ya que en la segunda etapa, obtuvimos dos parámetros asociados a cada tipo de registro, determinaremos ahora para cada año, un gasto sólido en suspensión asociado al caudal promedio Q_0 ; esto, para ambos tipos de registro.

QUINTA ETAPA. Determinación de gasto sólido rutinario (GSR) asociado a gasto sólido integrado (GSI) a partir de m.

A partir de la pendiente m obtenida en la etapa primera, se obtuvo un segundo gasto sólido rutinario, asociado al gasto sólido en suspensión integrado de la etapa cuatro.

SEXTA ETAPA. Diferencia entre ambos gastos sólidos rutinarios.

En esta etapa, se determinó la diferencia entre ambos gastos sólidos en suspensión rutinarios determinados anteriormente, para luego obtener una representación porcentual de esta diferencia respecto del gasto sólido rutinario obtenido a partir de las curvas de descarga.

SÉPTIMA ETAPA. Clasificación de cada año según su caudal promedio anual.

Refiriendo este valor a un caudal designado por Q_0 , el cual corresponde al promedio de todos los caudales asociados al total de las mediciones que constituyen la estadística utilizada. De esta forma, los años cuyo caudal medio anual es superior a Q_0 , se consideran años húmedos, y aquellos cuyo caudal medio anual es inferior a este valor, se denominan años secos.

OCTAVA ETAPA. Determinación de parámetros promedio.

Se determinó los parámetros promedio para año seco y año húmedo, además de los porcentajes promedio para cada clasificación.

NOVENA ETAPA. Factor de corrección asociado a cada promedio (FC).

En esta etapa, se asoció a cada uno de los valores porcentajes promedio, un factor de corrección, de la siguiente forma:

Si el porcentaje promedio de las diferencias entre los gastos sólidos determinados fue 20%, entonces el factor de corrección asociado será 1,20.

Finalmente, se agregó cada factor de corrección, a su respectiva ecuación.

Entonces, la relación, que en un principio tenía la forma:

$$\text{GSI} = m * \text{GSR} \quad (4)$$

Quedará:

$$\text{GSI} = m * \text{GSR} * \text{FC}. \quad (5)$$

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Al graficar los valores de gasto sólido en suspensión integrado, versus gasto sólido en suspensión rutinario para la estación de medición Maipo en El Manzano se obtuvo la relación mostrada en el Gráfico 1:

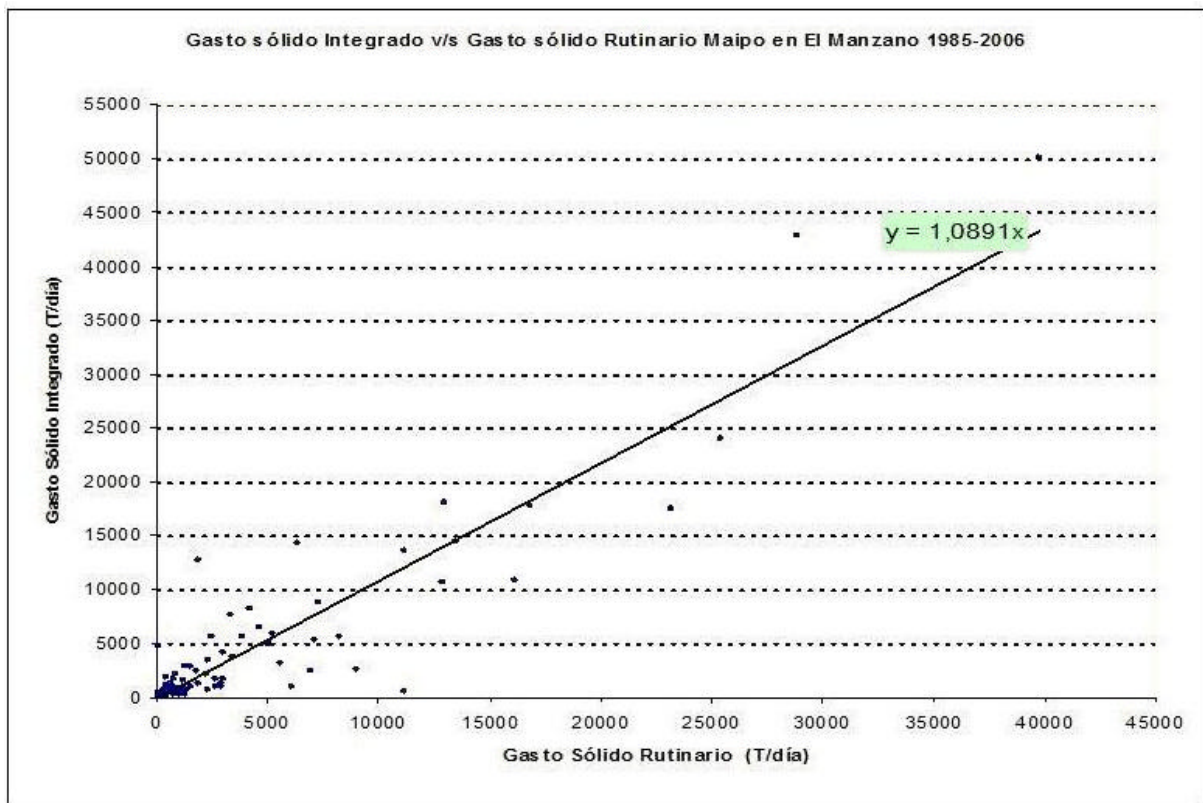


Gráfico 1. Gasto Sólido Integrado versus Gasto Sólido Rutinario Maipo en El Manzano 1985-2006.

Una vez obtenida la relación anterior, fue posible calcular gastos sólidos integrados a partir de los gastos sólidos rutinarios medidos en la estación, mediante la pendiente de la gráfica.

Las diferencias entre los gastos sólidos en suspensión rutinarios reales del período 1985-2006 y aquellos definidos por la relación obtenida, difieren en un promedio de 24% para años secos, y en un 47% para años húmedos, porcentajes que pueden ser considerados a la hora de predecir un valor de sedimentación, de la siguiente forma:

$$\text{GSI} = (1,0891 * \text{GSR}) * 1,24 \quad \text{Para año seco} \quad (6)$$

$$\text{GSI} = (1,0891 * \text{GSR}) * 1,47 \quad \text{Para año húmedo} \quad (7)$$

Donde:

GSR : Gasto sólido en suspensión rutinario. GSI : Gasto sólido en suspensión integrado.

1,0891 : Pendiente obtenida por la relación existente entre las mediciones integradas y rutinarias, en el período en estudio.

1,24 : Factor que considera un 24% de aumento en el sedimento en suspensión, producto del promedio de diferencias porcentuales entre los registros rutinarios reales y los sugeridos en este estudio, para año seco.

1,47 : Factor que considera un 47% de aumento en el sedimento en suspensión, producto del promedio de diferencias porcentuales entre los registros rutinarios reales y los sugeridos en este estudio, para año húmedo.

Al graficar los valores de gasto sólido en suspensión integrado, versus gasto sólido en suspensión rutinario para la estación de medición Maipo en San Alfonso, se obtuvo la relación mostrada en el Gráfico 2:

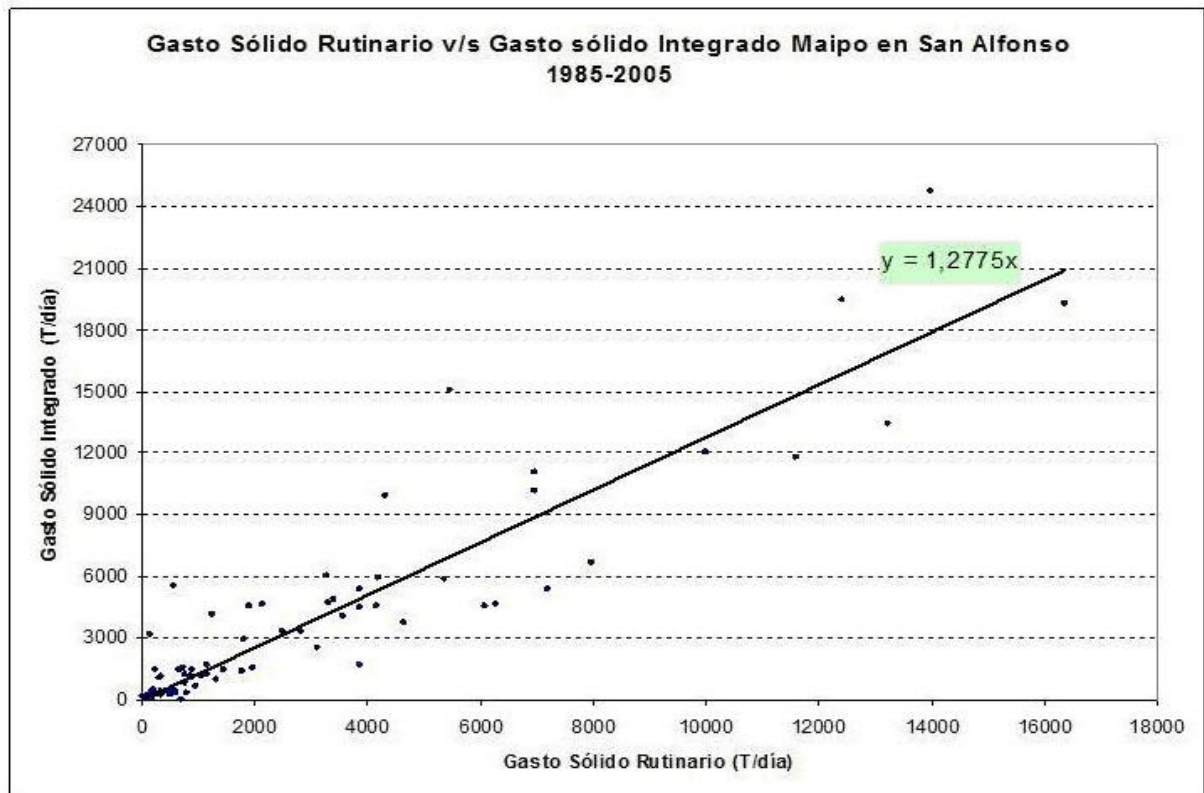


Gráfico 2. Gasto Sólido Rutinario versus Gasto Sólido Integrado Maipo en San Alfonso 1985-2005.

Una vez obtenida la relación anterior, fue posible calcular gastos sólidos integrados a partir de los gastos sólidos rutinarios medidos en la estación, mediante la pendiente de la gráfica.

Las diferencias entre los gastos sólidos en suspensión rutinarios reales del período en estudio, 1985-2005 y aquellos definidos por la relación obtenida, difieren en un promedio de 29% para años secos y en un 24% para años húmedos, porcentajes que pueden ser considerados a la hora de predecir un valor de sedimentación, de la siguiente forma:

$$\text{GSI} = (1,2775 * \text{GSR}) * 1,29 \quad \text{Para año seco} \quad (8)$$

$$\text{GSI} = (1,2775 * \text{GSR}) * 1,24 \quad \text{Para año húmedo} \quad (9)$$

Donde:

GSR : Gasto sólido en suspensión rutinario.

GSI : Gasto sólido en suspensión integrado.

1,2775 : Pendiente obtenida por la relación existente entre las mediciones integradas y rutinarias, en el período en estudio.

1,29 : Factor que considera un 29% de aumento en el sedimento en suspensión, producto del promedio de diferencias porcentuales entre los registros rutinarios reales y los sugeridos en este estudio, para año seco.

1,24 : Factor que considera un 24% de aumento en el sedimento en suspensión, producto del promedio de diferencias porcentuales entre los registros rutinarios reales y los sugeridos en este estudio, para año húmedo.

Todas las relaciones antes obtenidas, pueden ser usadas para cualquier unidad del sedimento en suspensión, ya que sólo se trata de factores que multiplican la medición integrada, y por ende, mantendrán la unidad en que se trabaje este registro.

6. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Los resultados alcanzados muestran que es posible establecer, con un conveniente margen de certeza, un factor de corrección que relaciona los valores de gastos sólidos obtenidos con muestreos integrados con los obtenidos en muestreos rutinarios, lo cual es de suma utilidad para obtener gasto sólido en suspensión representativo de una sección de medida, basado en una medición puntual.

De todas formas no es posible afirmar que las relaciones obtenidas para las estaciones del estudio, puedan ser extrapoladas a otras del mismo cauce ni a otras cuencas.

Actualmente se están desarrollando estudios similares en otras estaciones y cuencas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento y reconocimientos a la Dirección General de Aguas, que puso a su disposición la información necesaria para desarrollar este estudio.

REFERENCIAS

Banco Nacional De Aguas (BNA). 2006. Dirección General de Aguas. Santiago. Catálogo en Línea.

Dirección General De Aguas. Normas Hidrométricas, Tomo I y II;, Departamento de Hidrología, Santiago, Chile.

Endesa. 1964. Manual de normas y procedimientos, Cap. 8 Sedimentación. División Hidrología.